

การศึกษาฮาร์มอนิกด้วยเสียงบนอินดักชันมอเตอร์ควบคุมโดยอินเวอร์เตอร์

สมชาย สาลีขาว^{1*} อติศักดิ์ สุวรรณมา² ศาสนพงษ์ จินาดี¹ และ สุขสันต์ สว่างขึ้น¹

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอการ ศึกษาฮาร์มอนิกของเสียงบนอินดักชันมอเตอร์ที่ควบคุมด้วยอินเวอร์เตอร์ โดยเทคนิคการวัดฮาร์มอนิก ด้วยเสียงเป็นวิธีวัดความดังของเสียงที่เกิดขึ้นจากฮาร์มอนิกบนอินดักชันมอเตอร์ ซึ่งไม่ต้องเข้าไปสัมผัสกับตัวชิ้นงานที่ต้องทำการวัดโดยตรง และสามารถวิเคราะห์การทำงานของอินดักชันมอเตอร์ได้ โดยการศึกษาฮาร์มอนิกของเสียงจะมีสองเทคนิค คือ เทคนิคแรกเป็นการใช้เครื่องมือวัดเพื่อหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของฮาร์มอนิก ควบคู่กับการวัดคุณสมบัติทางเสียงโดยของฮาร์มอนิก เทคนิคที่สองเป็นการศึกษาโดยการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB / SIMULINK สำหรับการศึกษาทั้งสองเทคนิคจะทำการตั้งค่าความถี่มอเตอร์ (f_m) ไว้ที่ความถี่ 5, 25, 50, 75 Hz เพื่อกำหนดอัตราความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ จากนั้นจะทำการปรับค่าความถี่สวิตซ์ (f_s) ของอินเวอร์เตอร์ ไว้ที่ 4, 8, 12kHz เพื่อควบคุมเสถียรภาพของของมอเตอร์ จากผลการทดสอบพบว่าที่ความถี่มอเตอร์ (f_m) ที่ 75 Hz และความถี่สวิตซ์ (f_s) ที่ 12 kHz ฮาร์มอนิกมีแอมพลิจูดสูงที่สุดเท่ากับ 200V และมีระดับเสียงที่ 41.38 - 63.01 dB เมื่อเทียบกับความถี่สวิตซ์ (f_s) ที่ 4 kHz พบว่าฮาร์มอนิกมีแอมพลิจูดเท่ากับ 40V แต่มีระดับเสียงที่ 41.40 – 71.95 dB โดยเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/ SIMULINK พบว่ามีค่าผิดพลาดเฉลี่ย 1.19 % สรุปได้ว่าแอมพลิจูดของฮาร์มอนิกแปรผันตรงกับความถี่สวิตซ์ แต่แปรผกผันกับระดับเสียง เนื่องจากความถี่สวิตซ์ที่สูงทำให้กระแสโรเตอร์มีลักษณะเป็น Pure sine wave มากขึ้น ทำให้การหมุนของตัวอินดักชันมอเตอร์มีความเสถียรมากขึ้น ไม่มีอาการสะดุดระดับเสียงที่ออกจากตัวของอินดักชันมอเตอร์ลดต่ำลง

คำสำคัญ : ฮาร์มอนิก, อินเวอร์เตอร์, อินดักชันมอเตอร์, ระดับเสียง

¹ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

² บริษัท อีดาซีเอเซีย (ประเทศไทย) จำกัด

*ผู้ติดต่อ, อีเมล: sslk@kmutnb.ac.th และ chun@hotmail.com รับเมื่อ 20 มิถุนายน 2555 ตอบรับเมื่อ 21 พฤศจิกายน 2555

Study of Sound Harmonics on Induction Motor control by Inverter

Somchai Saleekaw^{1*} Adisak Suwanma² Sassanaphong Jinati¹ and Sukssan Sawangchuen¹

Abstract

This article presents the study of Sound Harmonics on Induction Motor control by Inverter AC drives. The propose technique does measure the harmonics of sound generated by induction motor without contact. Moreover, from the measured harmonic level, we can analyze the operation of induction motor control by inverter AC drives. Therefore, the studies of sound harmonic consist of two main procedures. The first procedure is used to measure the electrical properties comparing with the characteristic of sound harmonic. The second procedure is used to simulate of the operation on MATLAB / SIMULINK. For these two procedure, we set the frequency of the motor (f_m) at 5, 25, 50, 75 Hz for controlling the speed rate of motor, then adjusts the frequency switching (f_s) of the inverter at 4, 8, 12kHz for controlling the stability of motor. From the experiment results, harmonic at the motor frequency (f_m) at 75 Hz and switching frequency (f_s) at 12 kHz, Harmonic, there are high amplitude of 200V and a sound level of 41.38 - 63.01 dB. But, at switching frequency (f_s) at 4 kHz, Harmonic, there are low amplitude of 40V and a sound level of 41.40 - 71.95 dB. Then, comparison with the simulation results on MATLAB/SIMULINK, it appears an average error of 1.19%. In conclusion, the harmonic amplitude is directly proportional to the frequency of switching. But, it's inversely proportional to the sound level because at the high switching frequency will cause a rotor current to more pure sinusoidal wave. The rotation of the motor is more stable and smooth and sound level is decreases.

Keywords: Harmonic, Inverter, Induction motor, Sound pressure level

¹ Department of Electronics Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok.

² Hitachi Asia (Thailand) Co., Ltd.

* Corresponding author, sslk@kmutnb.ac.th and chun@hotmail.com Received 20 June 2012, Accepted 21 November 2012

1. บทนำ

เนื่องจากปัจจุบัน โรงงานอุตสาหกรรมนำเอา อินเวอร์เตอร์เข้ามาควบคุมการทำงานของมอเตอร์กัน มากกว่าในอดีตทำให้ปัญหาฮาร์มอนิกส์กำลังเป็นเรื่องที่น่าสนใจจากผู้ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับการทำงานของอุปกรณ์ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า และอุปกรณ์ประเภทที่เป็นแหล่งจ่ายฮาร์มอนิกส์ ซึ่งผลกระทบไปถึงการทำงานของอุปกรณ์รอบข้างทำให้การทำงานผิดพลาดและอายุใช้งานลดลงหรือแม้แต่อุปกรณ์ด้านการสื่อสารก็โดนผลกระทบเช่นกัน

จากหลักการ เหตุผล และสภาพปัญหาที่กล่าวข้างต้นทำให้คณะวิจัยได้เล็งเห็นประโยชน์ในการนำเอาหลักการตรวจสอบฮาร์มอนิกส์ด้วยเสียงบนอินเวอร์เตอร์และอินดักชันมอเตอร์มาทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณที่ทำการจำลองจากโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ซึ่งผลการเปรียบเทียบที่ความถี่มอเตอร์ (f_m) ที่ 5Hz, 25Hz, 50Hz, 75Hz ความถี่สวิตซ์ (f_s) ที่ 4kHz, 8 kHz, 12 kHz เพื่อให้เกิดการแก้ไขปรับปรุงความถี่สวิตซ์ซึ่งเพื่อให้สัญญาณรบกวนภายในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นมาตรฐานปกติ ซึ่งจะส่งผลให้การทำงานของเครื่องจักร อุปกรณ์ และผู้ปฏิบัติงานภายในโรงงานทำงานได้ตามเป้าหมายอย่างมีคุณภาพและประสิทธิภาพสูงสุด จึงได้ทำการศึกษาร่วมกันด้วยเสียงบนอินดักชันมอเตอร์ควบคุมโดยอินเวอร์เตอร์ โดยไม่ต้องสัมผัสกับตัวอุปกรณ์ในการวัดโดยตรงเพื่อความปลอดภัยของตัวผู้วัดเองด้วย

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษารวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเช่น การใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK จำลองการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ [1-2] การขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ

สามเฟสด้วยอินเวอร์เตอร์คอนโทรลเลอร์ [3] นั้น เพื่อที่จะเป็นแนวทางในการออกแบบสร้างโปรแกรมจำลองการทำงานเพื่อหาความสัมพันธ์ของการเกิดฮาร์มอนิกส์บนอินดักชันมอเตอร์ ซึ่งการเกิดฮาร์มอนิกส์บนอินดักชันมอเตอร์นั้น สามารถที่จะกำเนิดเสียงได้ [4]

โดยการเกิดเสียงบนอินดักชันมอเตอร์เกิดจากความสัมพันธ์ของระดับแรงดันฮาร์มอนิกส์ ค่าความถี่ที่เกิดฮาร์มอนิกส์ และมุมเฟส เป็นต้น ดังสมการที่ 1 ซึ่งการทดสอบวัดค่าความดังของเสียงที่เกิดจากการเกิดฮาร์มอนิกส์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2 ซึ่งเป็นการคำนวณ วิธีทดสอบ วิเคราะห์การทำงาน เพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ [5]-[6] และเพื่อเป็นข้อมูลและแนวทางในการทำวิจัยนี้

$$b(x, t) = \sum_{n=1}^p B_n \cos(v_n x - \omega_n t - \varphi_n) \quad (1)$$

$$Lp = 10 \log \left(\frac{p}{p_0} \right)^2 = 20 \log \left(\frac{p}{p_0} \right) \quad (2)$$

2.2 วางแผนออกแบบการทำงาน

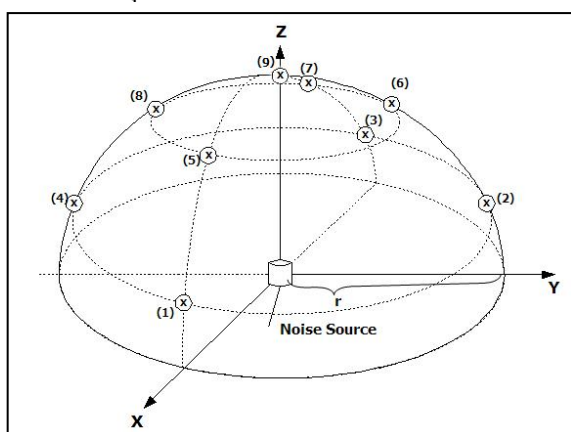
ขั้นตอนการทำงานของศึกษาร่วมกันจะแยกเป็นการศึกษาสองส่วนคือ ส่วนแรกเป็นการหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าโดยวัดสัญญาณไฟฟ้าฮาร์มอนิกส์ ซึ่งใช้เครื่องมือวัดโคปมิเตอร์ รุ่น Fluke 196C Scope-Meter ควบคู่กับการวัดคุณสมบัติทางเสียงโดยใช้ Sound Level Meter และส่วนที่สองเป็นการศึกษาโดยการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB SIMULINK โดยการศึกษาซึ่งฮาร์มอนิกส์ด้วยเสียงบนอินดักชันมอเตอร์ จะทำการตั้งค่าความถี่มอเตอร์ (f_m) ของอินเวอร์เตอร์ไว้ที่ความถี่ 5Hz, 25Hz, 50Hz, 75Hz เมื่อทำการตั้งค่าความถี่มอเตอร์และ ก็จะทำการปรับค่าความถี่สวิตซ์ (f_s) ของอินเวอร์เตอร์ ไว้ที่ 4kHz, 8kHz, 12kHz

3.วิธีการวัดทดสอบ

จากที่ได้ศึกษาข้อมูล ได้ออกแบบวิธีการวัดที่สอดคล้องกับคุณสมบัติของเครื่องมือวัดที่เรานำมาใช้ และจัดวางตำแหน่งอุปกรณ์และเริ่มการวัดระดับเสียงและสัญญาณไฟฟ้า

3.1 การวัดระดับเสียงโดย Sound Level Meter

ในการวัดเสียงวัตถุหนึ่งลักษณะการวัดจะเป็นรูปโดมครึ่งวงกลมดังรูปที่ 1 และ 2 โดยการวัดระดับเสียงโดย Sound Level Meter ซึ่งวัดความถี่มอเตอร์ (f_m) ที่ 5Hz, 25Hz, 50Hz, 75Hz ความถี่สวิตซ์ (f_s) ที่ 4kHz, 8 kHz, 12 kHz จะได้ค่าทั้งหมด 144 ค่า และนำระดับเสียงมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยทั้ง 9 จุดต่อไป



รูปที่ 1 แสดงตำแหน่งโดมครึ่งวงกลม



รูปที่ 2 แสดงการวัดระดับเสียงโดย Sound Level Meter ตามตำแหน่ง



รูปที่ 3 แสดงการวัดแรงดันที่ขั้วมอเตอร์

เนื่องจากจำเป็นต้องคำนึงถึงปริมาตรของห้อง จึงได้จำนวนจุดการวัดเสียง 9 จุด และแต่ละจุดมีระยะห่างจากมอเตอร์ 1 เมตร ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตำแหน่งมิเตอร์วัดระดับเสียงทั้งหมด 9 จุด

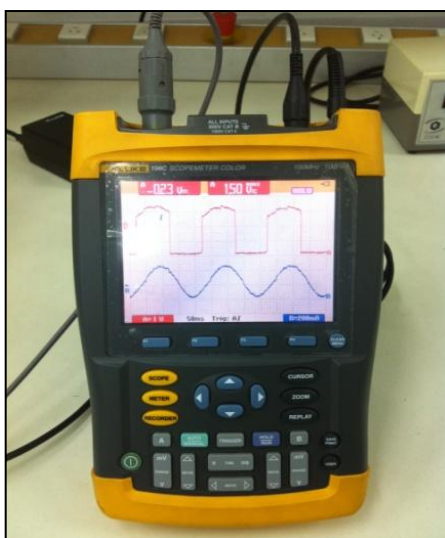
ตำแหน่ง มิเตอร์ วัดระดับเสียง	X (m)	Y (m)	Z (m)
(1)	r	0	0.6r
(2)	0	r	0.6r
(3)	-r	0	0.6r
(4)	0	-r	0.6r
(5)	0.8r	0.8r	r
(6)	-0.8r	0.8r	r
(7)	-0.8r	-0.8r	r
(8)	0.8r	-0.8r	r
(9)	0	0	r
ตำแหน่งการวางไมโครโฟน สำหรับวัด 9 ตำแหน่ง (r = รัศมีของครึ่งทรงกลม = 1 m)			

3.2 การวัดสัญญาณไฟฟ้าโดย Fluke 196C ScopeMeter

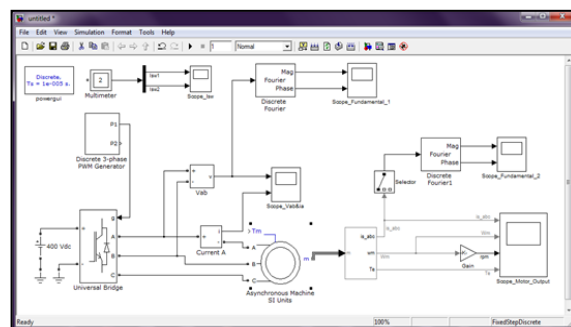
วัดสัญญาณไฟฟ้าโดย Fluke 196C ScopeMeter ความถี่มอเตอร์ (f_m) ที่ 5Hz, 25Hz, 50Hz, 75Hz ความถี่สวิตช์ (f_s) ที่ 4kHz, 8 kHz, 12 kHz โดยวิธีการวัดจะเป็นดังรูปที่ 3 จะเป็นการวัด PWM ที่อินพุตของอินเวอร์เตอร์ที่ L1 และ L2 และรูปที่ 4 เป็นการวัดกระแสที่ L1 ของอินเวอร์เตอร์ ซึ่งสัญญาณที่ได้ออกมาจะเป็นดังรูปที่ 5



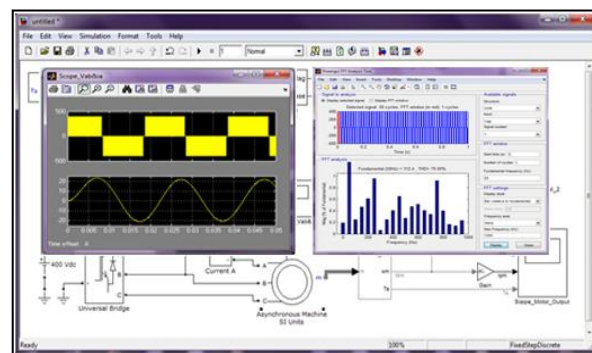
รูปที่ 4 แสดงการวัดกระแสด้วย Current Probes



รูปที่ 5 แสดงสัญญาณที่วัดได้โดย Fluke 196C ScopeMeter



รูปที่ 6 ทำการทดสอบแบบจำลองจากโปรแกรม MATLAB



รูปที่ 7 แสดงรูปสัญญาณ (PWM) กระแส และ ฮาร์มอนิกที่ (f_m) = 50Hz และ 8 kHz

3.3 การจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/ SIMULINK

สร้างชุด AC Drives และสโคปมิเตอร์โดยโปรแกรม และทำการวัดสัญญาณ PWM กระแส และ ฮาร์มอนิก ดังรูปที่ 6 เป็นการสร้างและทดสอบแบบจำลองจากโปรแกรม MATLAB/SIMULINK และรูปที่ 7 เป็นภาพของ โปรแกรมการวิเคราะห์ฮาร์มอนิกด้วย FFT ที่แสดงสัญญาณที่วัดจากสโคป

4. ผลการทดสอบ

ผลการทดลองของงานวิจัยนี้จะแบ่งเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งเป็นผลการศึกษาในการวิเคราะห์ผลการทดสอบ การศึกษาฮาร์มอนิกด้วยเสียงบนอินเวอร์เตอร์ควบคุม

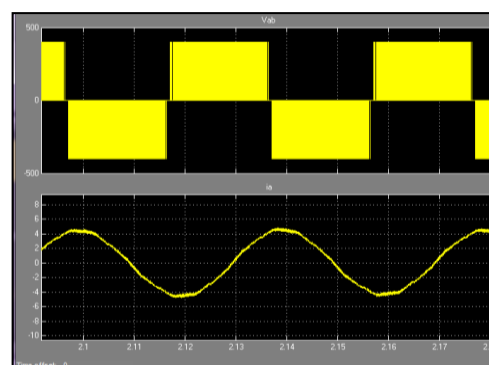
โดยอินเวอร์เตอร์ โดยวัดและเก็บสัญญาณ PWM, กระแส และ ฮาร์มอนิก ที่ได้จากสโคปมิเตอร์ FLUKE 196C นำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณฮาร์มอนิกที่จำลองจากโปรแกรม MATLAB/SIMULINK และส่วนที่สองคือระดับเสียง dBA จากเครื่องมือวัดระดับเสียง ซึ่งทั้งสองส่วนมีการทดสอบการทำงานชุด AC Drives ที่ความถี่มอเตอร์ (f_m) ที่ 5Hz, 25Hz, 50Hz, 75Hz ความถี่สวิตซ์ (f_s) ที่ 4kHz, 8 kHz, 12 kHz นำผลการทดลองทั้งสองส่วนนั้นมาเปรียบเทียบกับกัน ซึ่งจะมีขั้นตอนในการทดสอบดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดสอบและเปรียบเทียบสัญญาณฮาร์มอนิกจากสโคปมิเตอร์ FLUKE 196C กับสัญญาณที่จำลองจากโปรแกรม MATLAB/SIMULINK

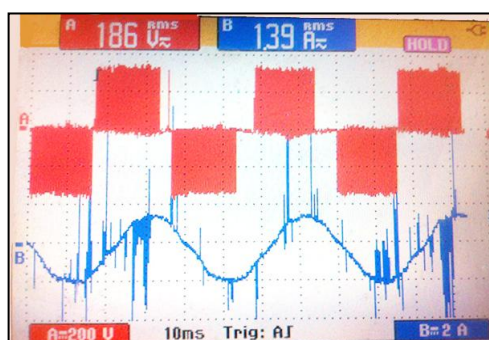
ขั้นตอนนี้เป็นการทดลองวัดสัญญาณชุด AC Drives กำหนดที่ความถี่มอเตอร์ (f_m) ที่ 5Hz, 25Hz, 50Hz, 75Hz ความถี่สวิตซ์ (f_s) ที่ 4kHz, 8kHz, 12kHz โดยใช้สโคปมิเตอร์ FLUKE 196C ในการวัดสัญญาณ PWM, กระแส และ ฮาร์มอนิกและนำผลทั้งสองมาเปรียบเทียบกับสัญญาณฮาร์มอนิกที่จำลองจากโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ซึ่งจะยกตัวอย่างการเปรียบเทียบที่ 2 ความถี่ โดยความถี่แรกคือ ความถี่มอเตอร์ (f_m) ที่ 25Hz และความถี่สวิตซ์ (f_s) ที่ 8kHz ได้ผลดังรูปที่ 8 แสดงสัญญาณ PWM และกระแส ไซน์ซอซด์ที่ได้จากการวัด รูปที่ 9 แสดงสัญญาณที่จำลองการทำงาน รูปที่ 12 แสดงฮาร์มอนิกที่ได้จากการวัด และรูปที่ 13 แสดงสัญญาณที่จำลองการทำงานความถี่ที่สองคือความถี่มอเตอร์ (f_m) ที่ 25Hz และ ความถี่สวิตซ์ (f_s) ที่ 12 kHz ได้ผลดังรูปที่ 10 แสดงสัญญาณ PWM และ กระแส ไซน์ซอซด์ที่ได้จากการวัด รูปที่ 11 แสดงสัญญาณที่จำลองการทำงาน รูปที่ 14 แสดงฮาร์มอนิกที่ได้จากการวัด และรูปที่ 15 แสดงสัญญาณที่จำลองการทำงาน



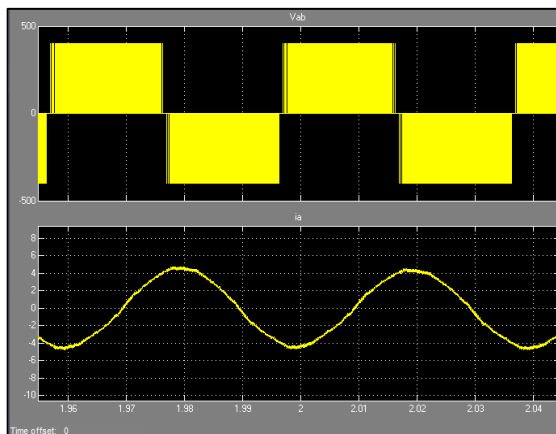
รูปที่ 8 แสดงสัญญาณ PWM และ กระแส ไซน์ซอซด์ที่ได้จากการวัด ที่ f_m เท่ากับ 25Hz และ f_s เท่ากับ 8kHz



รูปที่ 9 แสดงสัญญาณที่จำลองการทำงาน ที่ f_m เท่ากับ 25Hz และ f_s เท่ากับ 8kHz

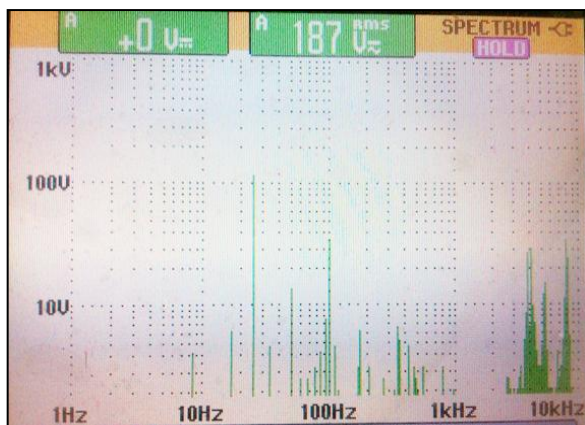


รูปที่ 10 แสดงสัญญาณ PWM และ กระแส ไซน์ซอซด์ที่ได้จากการวัด ที่ f_m เท่ากับ 25Hz และ f_s เท่ากับ 12kHz

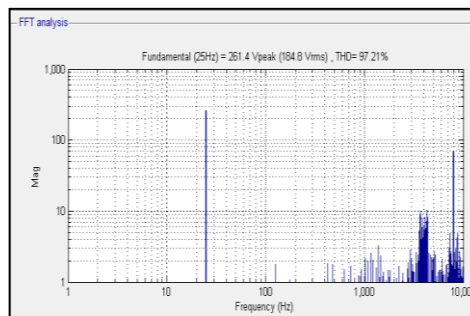


รูปที่ 11 แสดงสัญญาณที่จำลองการทำงาน ที่ f_m เท่ากับ 25Hz และ f_s เท่ากับ 12kHz

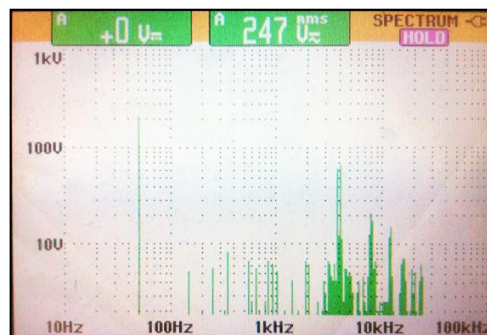
จากการเปรียบเทียบในรูปที่ 8, 9, 10 และ 11 แสดงให้เห็นว่ากระแสไหลย้อนที่ได้จากการวัด ที่ความถี่สวิตซ์ (f_s) ที่ 12kHz เกิด Noise มากกว่าอย่างเห็นได้ชัด และกระแสไหลย้อนมี waveform ที่ใกล้เคียงกับ pure sine wave มากกว่า ที่ความถี่สวิตซ์ (f_s) เท่ากับ 8kHz บ่งบอกว่าเมื่อทำการเพิ่ม f_s จะทำให้เกิด Noise มากขึ้นและทำให้ Sampling rate ของ IGBT เพิ่มขึ้นตามไปด้วย



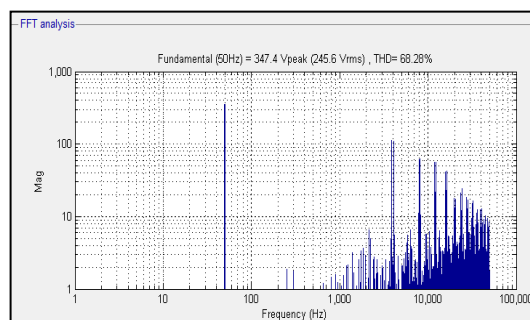
รูปที่ 12 แสดงฮาร์มอนิกที่ได้จากการวัด ที่ f_m เท่ากับ 25Hz และ f_s เท่ากับ 8kHz



รูปที่ 13 แสดงสัญญาณฮาร์มอนิกที่จำลองการทำงาน ที่ f_m เท่ากับ 25Hz และ f_s เท่ากับ 8kHz



รูปที่ 14 แสดงฮาร์มอนิกที่ได้จากการวัด ที่ f_m เท่ากับ 25Hz และ f_s เท่ากับ 12kHz



รูปที่ 15 แสดงสัญญาณฮาร์มอนิกที่จำลองการทำงาน ที่ f_m เท่ากับ 25Hz และ f_s เท่ากับ 12kHz

จากการเปรียบเทียบฮาร์มอนิกในรูปที่ 12, 13, 14 และ 15 ฮาร์มอนิกที่ f_m เท่ากับ 25 Hz และ f_s เท่ากับ 12kHz มีแอมพลิจูดที่สูงมาก ซึ่งหมายถึงเมื่อมีการปรับความถี่สวิตซ์ (f_s) เพิ่มทำให้เกิดฮาร์มอนิกจำนวนมากขึ้นและแอมพลิจูดสูงขึ้นไปด้วย

เมื่อทำการวัดทางไฟฟ้าข้างต้นทำให้เราให้เห็นการเกิดฮาร์มอนิกจึงได้เปรียบเทียบฮาร์มอนิกไฟฟ้ากับระดับเสียงเพื่อวิเคราะห์การทำงานของชุด AC Drives จึงนำค่าดังกล่าวมาเปรียบเทียบในตารางที่ 2 ดังนี้

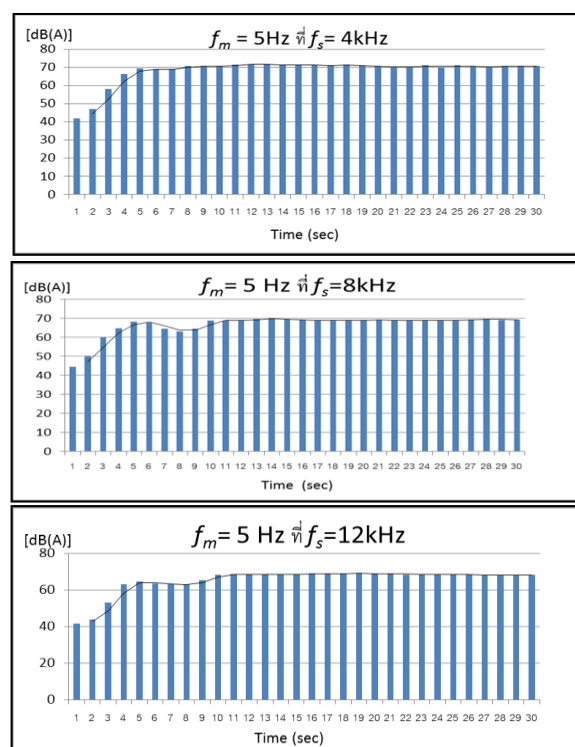
ตารางที่ 2 ระดับเสียงและฮาร์มอนิกลำดับที่ 1 ที่วัดโดยเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า

f_m (Hz)	f_s (kHz)	Harmonic 1 st order (V)	ช่วงระดับเสียง (dB)
5	4	12	41.65 - 70.88
5	8	75	44.58 - 69.84
5	12	40	41.52 - 68.94
25	4	22	41.45 - 66.73
25	8	4	41.22 - 64.27
25	12	28	41.23 - 56.44
50	4	6	41.43 - 71.35
50	8	1	41.17 - 68.29
50	12	5	41.23 - 59.44
75	4	40	41.40 - 71.95
75	8	180	41.41 - 67.18
75	12	200	41.38 - 63.01

จากตารางที่ 2 สังเกตได้ว่า ที่ความถี่มอเตอร์ (f_m) ที่ 75Hz และความถี่สวิตซิ่ง (f_s) ที่ 12kHz ฮาร์มอนิกมีแอมพลิจูดสูงที่สุดเท่ากับ 200V และมีระดับเสียงที่ 41.38 - 63.01 dB เมื่อเทียบกับความถี่สวิตซิ่ง (f_s) ที่ 4 kHz พบว่าฮาร์มอนิกมีแอมพลิจูดเท่ากับ 40V แต่มีระดับเสียงที่ 41.40 - 71.95 dB บ่งบอกได้ว่าเมื่อมีการเกิดฮาร์มอนิกมาก เนื่องจากมีความถี่สวิตซิ่งที่สูงจึงมีระดับเสียงของการทำงานอินดักชันมอเตอร์ที่ต่ำเนื่องจากกระแสโรเตอร์มีลักษณะเป็น Pure sine wave มากขึ้น

4.2 ผลการเปรียบเทียบกราฟระดับเสียง dBA จากเครื่องมือวัด Sound Level Meter เพื่อวิเคราะห์การทำงานของชุด AC Drives

ในการทดสอบและวัดค่านี้จะทำการวัดระดับเสียงบนอินดักชันมอเตอร์ที่ควบคุมโดยอินเวอร์เตอร์ กำหนดที่ความถี่มอเตอร์ (f_m) ที่ 5Hz, 25Hz, 50Hz, 75Hz และความถี่สวิตซิ่ง (f_s) ที่ 4kHz, 8kHz, 12kHz โดยใช้ด้วยเครื่องมือวัด Sound Level Meter ที่ความถี่มอเตอร์ (f_m) ที่ 5Hz และความถี่สวิตซิ่ง (f_s) ที่ 4kHz, 8kHz, และ 12kHz จะได้กราฟระดับเสียง dBA ดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 แสดงระดับเสียงที่ $f_m = 5$ Hz และ f_s ที่ 4, 8, และ 12kHz

5. สรุปผล

จากการดำเนินการทำวิจัยเรื่องการศึกษาฮาร์มอนิกด้วยเสียงบนอินดักชันมอเตอร์ที่ควบคุมโดยอินเวอร์เตอร์ โดยจะแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนที่หนึ่งคือการเปรียบเทียบสัญญาณ PWM และ กระแสไหลย้อนกลับ สรุปได้ว่าผลจากการวัดด้วยของจริงจากสโคปมีเตอร์มีสัญญาณรบกวนมากกว่าสัญญาณฮาร์มอนิก เนื่องจากในส่วนของการกระแสไฟฟ้า

เอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ที่ไม่คงที่ อัตราการแซมปลิงสัญญาณของสโคปมิเตอร์ FLUKE 196C มีอัตราการแซมปลิงน้อยกว่าของสโคปมิเตอร์ในโปรแกรม MATLAB/SIMULINK และส่วนที่สองการวัดระดับเสียงสังเกตได้ว่า ที่ความถี่มอเตอร์ (f_m) ที่ 75Hz และความถี่สวิตซิ่ง (f_s) ที่ 12kHz ฮาร์มอนิกมีแอมพลิจูดสูงที่สุดเท่ากับ 200V และมีระดับเสียงที่ 41.38 - 63.01 dB เมื่อเทียบกับความถี่สวิตซิ่ง (f_s) ที่ 4 kHz พบว่าฮาร์มอนิกมีแอมพลิจูดเท่ากับ 40V แต่มีระดับเสียงที่ 41.40 - 71.95 dB โดยเมื่อเปรียบเทียบค่าฮาร์มอนิกที่ได้จากการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมเทียบกับการวัดค่าจริง พบว่ามีค่าผิดพลาดเฉลี่ย 1.19 % อันเนื่องจากแอมพลิจูดของฮาร์มอนิกแปรผันตรงกับความถี่สวิตซิ่ง แต่แปรผกผันกับระดับเสียง เพราะมีความถี่สวิตซิ่งที่สูงจึงมีระดับเสียงของการทำงานอินดักชันมอเตอร์ที่ต่ำเนื่องจากกระแสโรเตอร์มีลักษณะเป็น Pure sine wave มากที่สุด ซึ่งจากการทดสอบและเปรียบเทียบทั้งหมด เราสามารถนำเอาสัญญาณทางไฟฟ้ามาเปรียบเทียบกับระดับเสียงการทำงานของอินดักชันมอเตอร์ที่ควบคุมโดยอินเวอร์เตอร์ได้

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบพระคุณสถาบันนวัตกรรมเทคโนโลยีไทย-ฝรั่งเศส มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่อำนวยความสะดวกในการใช้สถานที่และเครื่องมือมาโดยตลอด

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Subsi, S. Maravach, "MATLAB Simulink to simulation converter and inverter", A Project of Department of Electrical Engineering Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 2010.
- [2] P. Thongbua, P. Kongsavee, "MATLAB SIMULATION of AC drive", A Project of Department of Electrical Engineering Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 2010.
- [3] V. Chaisakda, "Three phase induction motor drives by inverter controller" A Project of Department of Electrical Engineering Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 2010.
- [4] C. Grabner, Variable Speed Drive Application Based Acoustic Noise Reduction Strategy, International Conference on Electrical Engineering and Applications 2010.
- [5] L. Sebastiao, H. Gustavo, "Acoustic Noise in Induction Motor", Petroleum and Chemical Industry Conference, 2000.
- [6] NEMA, "Standard Motors and Generators. Part12: Tests and Performance AC Motors". Revision No. 3, 1996.